ITER: le Soleil dans un thermos

Des physiciens de l'EPFL se plongent dans les plasmas, ces « soupes de particules » où se déroule la fusion thermonucléaire, source de l'énergie du futur.

PAR OLIVIER DESSIBOURG

ILLUSTRATION ITER

Reproduire sur Terre, dans un thermos, l'éclat du Soleil afin d'en tirer une énergie propre et sûre pour l'avenir. Tel est l'objectif du projet international ITER, une gigantesque machine qui sera érigée à Cadarache (France) et étudiera un processus physique difficile à réaliser, la fusion thermonucléaire.

L'idée est simple: amalgamer les noyaux de deux éléments légers pour qu'ils en créent un nouveau, cela en libérant de l'énergie. Mais de tels mariages sont difficiles à orchestrer, car ces particules chargées positivement doivent vaincre leur répulsion électrostatique naturelle. Dans le Soleil, c'est l'immense force de gravitation de l'astre ainsi qu'une température de 15 millions de degrés qui permettent à deux atomes d'hydrogène modifiés, les isotopes deutérium et tritium, de fusionner pour générer des noyaux d'hélium. Le tout en dégageant lumière et chaleur. Sur Terre, l'affaire est plus compliquée.

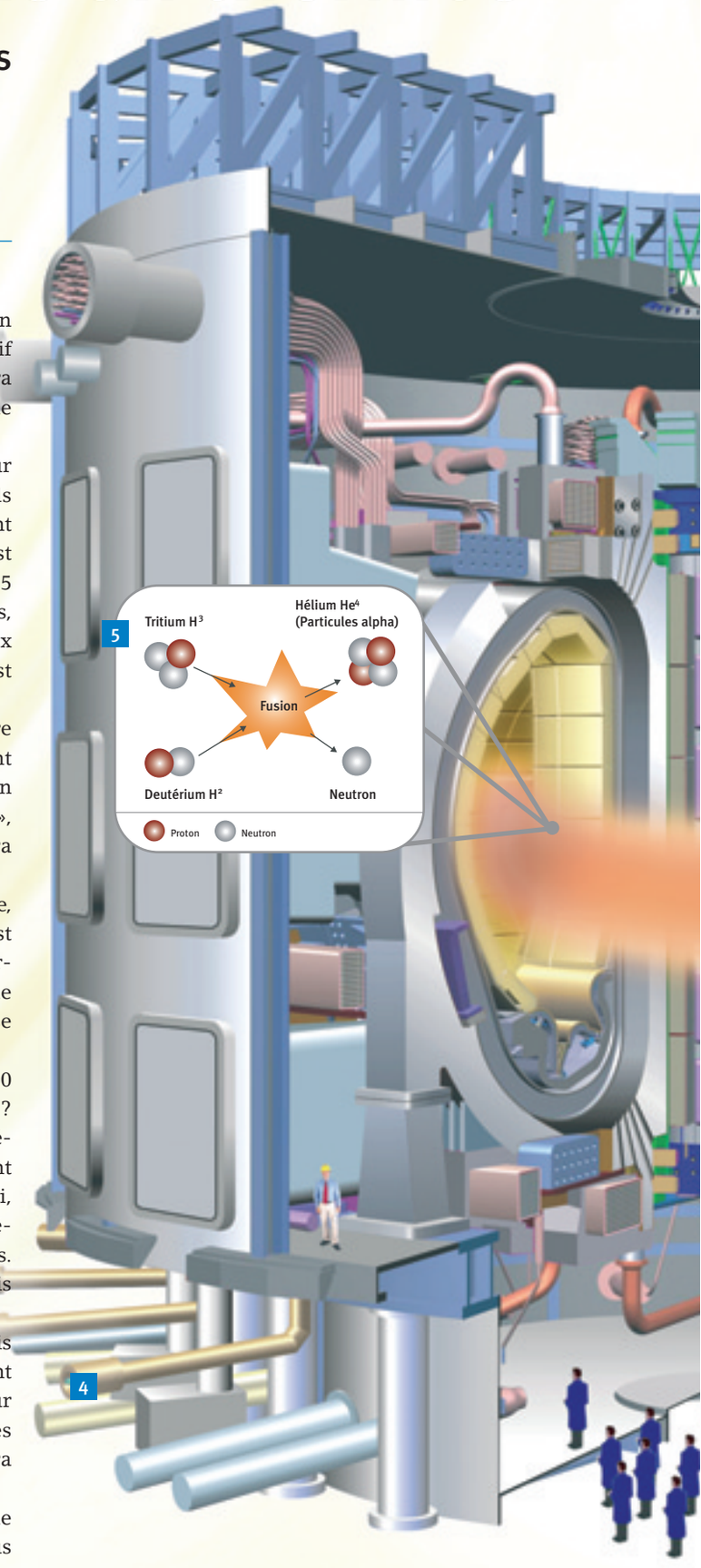
Pour qu'il y ait fusion, une température sept fois plus importante doit être atteinte. Dans les années 1960, les scientifiques russes ont mis au point les tokamaks, des « thermos » en forme de chambre à air. A l'intérieur, on peut y chauffer à 100 millions de degrés une « soupe de particules chargées », appelée plasma, siège de la fusion. ITER, avec son volume de 840 m^3, sera le plus grand du genre.

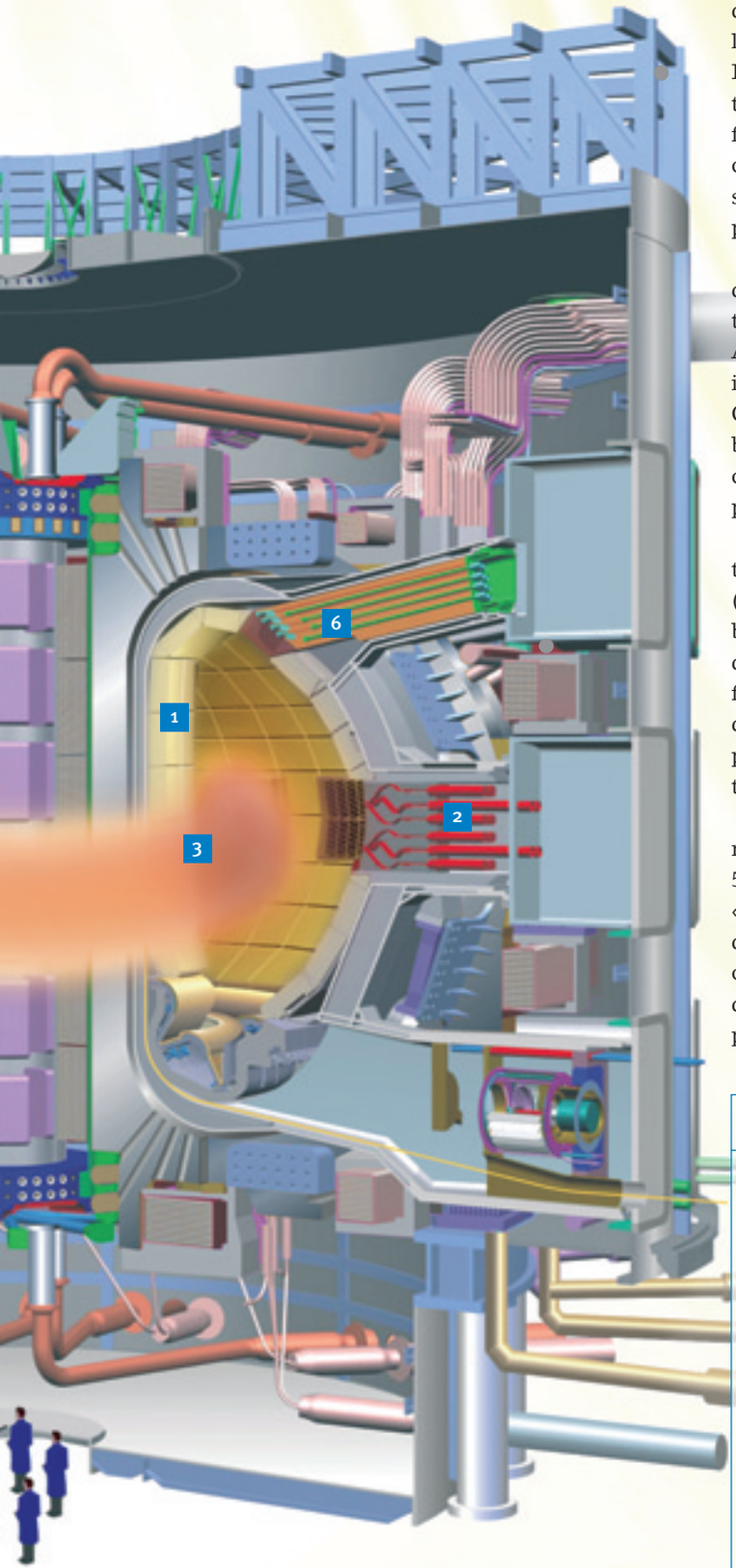
Depuis 50 ans, l'un des défis liés à la fusion est de maintenir aussi dense, chaud et stable que possible ce plasma intangible comme un nuage. C'est à cette tâche que s'attelle le groupe d'Ambrogio Fasoli au Centre de recherches en physique des plasmas (CRPP) de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL). « Et la nature n'est pas sympathique avec nous », glisse d'emblée le professeur.

« En effet, pour l'heure, le plasma perd ses particules et son énergie 1000 à 10 000 fois plus rapidement que ce que prédit la théorie. » Pourquoi? « Il contient des instabilités associées à de minuscules champs électromagnétiques créés par les particules elles-mêmes. Ces turbulences évoluent de façon non linéaire et, comme une vaguelette peut devenir un tsunami, finissent par éjecter les particules. » Jusqu'à récemment, leurs caractéristiques restaient mal connues, tant les mesures s'avéraient complexes. L'équipe du CRPP a alors imaginé TORPEX. « C'est un tokamak simple mais bardé de capteurs qui observent de A à Z l'activité du plasma. »

L'expérience fournit des résultats probants. « Nos recherches ont permis de décrire les structures turbulentes qui se forment, et comment elles éjectent les particules. L'idée est maintenant de développer des subterfuges pour les annihiler, ou du moins les limiter », explique le physicien. Ces données alimentent aussi le travail des théoriciens. « Et une fois que la théorie sera validée, elle pourra être appliquée à ITER avec confiance. »

Un autre challenge de la fusion thermonucléaire est de faire en sorte que le plasma s'auto-entretienne pour que, à terme, la machine produise plus





d'énergie qu'elle n'en consomme. L'une des façons d'y parvenir passe par une amélioration de l'étanchéité thermique. Mais les scientifiques ont identifié un autre problème. « La réaction de fusion produit des noyaux d'hélium, aussi appelés particules alpha. Or on veut que ces corpuscules demeurent assez longtemps dans le plasma – quelques secondes – pour lui céder leur énergie et nourrir le processus », explique Ambrogio Fasoli. Las. Car il existe dans la « soupe de particules » des lignes de champs magnétiques qui réagissent comme les cordes d'une guitare. Lorsqu'une « alpha » flirte avec elles, une onde dite Alfvén naît, comme des doigts grattant le cordage de l'instrument génèrent un son. « Or ces ondes peuvent résonner si fort qu'elles catapultent leurs propres guitaristes, les « alpha », hors du plasma ! »

Pour capter cette musique particulière, les chercheurs de l'EPFL ont donc développé une antenne qu'ils ont installée dans le JET, un tokamak qui se trouve à Oxford. « Il y a peu, nous avons commencé ‹ à entendre › ces ondes Alfvén. Nous diagnostiquons donc de mieux en mieux les paramètres qui influencent leur apparition et imaginons des stratégies pour les neutraliser. Celles-ci pourraient correspondre au fait de jouer de la guitare dans un bain d'huile, avec pour conséquence trop d'amortissement pour que les cordes vibrent. » Car au final, la maîtrise de la fusion thermonucléaire passe par le contrôle de ces particules alpha.

Le but principal d'ITER est ainsi de démontrer la faisabilité de cette technologie sûre (la machine ne peut pas s'emballer) et non polluante (aucune émission de CO_2) qui pourrait s'avérer essentielle pour répondre aux besoins énergétiques futurs. Selon les démographes, la population terrestre doublera en effet d'ici 2100, tandis que les ressources en combustibles fossiles auront probablement tari. Le réacteur, devisé à 12 milliards d'euros, devrait entrer en fonction en 2016. Avant que, vers 2030, un autre prototype préindustriel baptisé DEMO ne concrétise définitivement cette aventure technologique en produisant de l'électricité.

Certains scientifiques affirment toutefois que, vu ces difficultés, la fusion restera toujours, comme en 1960 déjà, « atteignable dans un horizon de 50 ans… » Pour Ambrogio Fasoli, en revanche, l'évolution est impressionnante. « Pour preuve, la puissance de fusion a progressé plus vite que la puissance de calcul des puces électroniques », rétorque-t-il. Le professeur en est convaincu : la production d'énergie par fusion thermonucléaire sera possible d'ici 30 ans, « pour autant que ce défi majeur soit considéré comme une priorité politique ! » ■

Mode d'emploi d'ITER

Dans un « thermos » en forme de chambre à air (1), les scientifiques chauffent à 100 millions de degrés, avec des micro-ondes (2), une « soupe de particules chargées » appelée plasma (3), composée de deutérium (D) et de tritium (T). Ces deux dérivés de l'hydrogène injectés par des conduits (4) sont des combustibles disponibles en quantité sur Terre : le premier peut être extrait de l'eau, le second généré à partir du lithium, un métal répandu dans la croûte terrestre. On estime que 1 kg de mélange D-T produira autant d'énergie que 10 000 tonnes de charbon.

Le plasma, confiné par un champ magnétique externe afin qu'il n'érode pas les parois, est le siège de la fusion thermonucléaire : les atomes de D et T s'amalgament (5). De cette réaction résultent des atomes d'hélium, inoffensifs, et des neutrons énergétiques. En frappant les parois du réacteur, ces neutrons les rendent temporairement radioactives, mais surtout leur transmettent leur énergie sous forme de chaleur. Une chaleur qui, une fois récupérée (6), peut faire fonctionner des turbines à vapeur produisant de l'électricité. ITER, projet expérimental, devrait produire 500 MW de puissance thermique durant 400 secondes. De quoi – si cette énergie était utilisée – alimenter 15 000 foyers en électricité.